

PROSPECÇÃO PARA CASSITERITA NA REGIÃO ENTRE CACHOEIRA PAULISTA (SP) E RESENDE (RJ): POTENCIALIDADE EM ESTANHO DOS GRANITOS DO FUNIL E SÃO JOSÉ DO BARREIRO, SEGMENTO CENTRAL DA FAIXA RIBEIRA.

Ronaldo Mello PEREIRA¹, Ciro Alexandre ÁVILA², Reiner NEUMANN³

(1) Departamento de Geologia Aplicada, Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rua São Francisco Xavier, 524/2019A, Maracanã. CEP 20.540-900. Rio de Janeiro, RJ. Endereço eletrônico: rmello@uerj.br. (2) Departamento de Geologia e Paleontologia, Museu Nacional, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Quinta da Boa Vista s/n – São Cristóvão. CEP 20.940-040. Rio de Janeiro, RJ. Endereço eletrônico: avila@mn.ufrj.br. (3) Coordenação de Análises Mineralis, Centro de Tecnologia Mineral. Avenida Ipê 900, 21941-590 – Ilha da Cidade Universitária, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Endereço eletrônico: rneumann@cetem.gov.br.

Introdução
Contexto Geotectônico - Geológico
Prospecção Mineralométrica
Susceptibilidade Magnética - Gamaespectrometria
Potencialidade em Sn dos Granitos do Funil e São José Do Barreiro
Considerações Finais
Conclusões
Agradecimentos
Referências Bibliográficas

RESUMO - A presença de cassiterita na região entre Cachoeira Paulista e Resende foi confirmada através de uma amostragem realizada em nível regional (área 1.500 km²) e local, totalizando 196 amostras de concentrados de minerais pesados. Os granitos São José do Barreiro e Funil, intrusivos nas rochas do Complexo Embu, segmento central da Faixa Ribeira, foram estudados em decorrência da presença de cassiterita nos seus entornos. Trabalhos de *follow-up*, realizados em alguns sítios da região estudada, localizaram dois alvos potenciais para cassiterita. Os bancos de cascalhos dos terraços fluviais recentes e os ruditos paleogênicos da Bacia de Resende foram identificados como fontes secundárias de dispersão da cassiterita. Para a definição do potencial em metais raros (Sn, W) dos granitos estudados foram utilizados parâmetros geoquímicos tais como o teor de Sn, razão (Rb² x Li)/(K x Mg x Sr), razão Mg/Li e o diagrama Rb-Ba-Sr (adaptado). Dos corpos considerados, somente o Granito do Funil pode ser enquadrado com um granito precursor, em função dos teores de estanho apresentados (10 ppm), da razão (Rb² x Li)/(K x Mg x Sr) > 0,001, da razão Mg/Li = 37 e por suas amostras plotarem no diagrama Rb-Ba-Sr no campo dos granitos estaníferos.

Palavras-chave: Cassiterita; geoquímica; Granito do Funil; Granito São José do Barreiro; Faixa Ribeira.

ABSTRACT - R.M. Pereira, C.A. Avila, R. Neumann - Cassiterite prospecting in Cachoeira Paulista (São Paulo State) and Resende (Rio de Janeiro State) region: tin potential of the Funil and the São José do Barreiro granites, central segment of the Ribeira Belt. Cassiterite mineralizations in Cachoeira Paulista (São Paulo State) and Resende (Rio de Janeiro State) region were assessed after heavy pan prospecting (196 samples). Prospective follow-up work point to a secondary source of cassiterite: the gravel benches of the fluvial terraces and the Paleogene rudites of the Resende Basin. Neoproterozoic Funil and São José do Barreiro granites crop out within the central part of the Ribeira Belt and are enclosed by metamorphic rocks of the Embu Complex. Geochemical study, based on (Rb² x Li)/(K x Mg x Sr) and Mg/Li ratios and the Rb-Ba-Sr diagram, point to the Funil Granite (10 ppm Sn, Mg/Li=37; Rb² x Li/K x Mg x Sr > 0,001) as the only potential primary source. In the Ba-Rb-Sr diagram the Funil sample data plot within the stanniferous granite field.

Keywords: Cassiterite; geochemistry; Funil Granite; São José do Barreiro Granite; Ribeira Belt.

INTRODUÇÃO

Apesar do intenso magmatismo granítico que ocorreu na borda sul-sudeste do Brasil, a presença de estanho e metais raros nessa região, seja na forma de ocorrências ou depósitos de pequeno porte ainda é escassa. Deve-se ressaltar, entretanto, que a potencialidade desta área para estanho e tungstênio sempre foi negligenciada e subestimada, apesar de Wernick & Penalva (1978) terem destacado a presença de mineralizações associadas aos plutonitos graníticos.

Em São Paulo, uma das primeiras descobertas de metais raros remonta à década de 40 e encontra-se relacionada à presença de cassiterita em corpos pegmatíticos de Mogi das Cruzes (Cunha, 1942). Em datas relativamente próximas foram descobertas novas

ocorrências no Município de Jundiá, associada a filões de quartzo, aluviões e coluviões portadores de volframita e cassiterita (Saldanha, 1946) e na Serra de São Francisco, em Sorocaba, em filões de quartzo greisenizados com volframita e cassiterita (Saldanha & Franco, 1946; Knecht, 1946, Barbosa & Maciel, 1951).

Ao longo dos anos 80, inúmeras outras áreas com a presença de cassiterita e volframita foram detectadas no Estado de São Paulo como as de Cananéia (Boin et al., 1982), Caraguatatuba e Eldorado (Martini, 1985), onde as mineralizações encontram-se relacionadas a greisens, albititos e veios de quartzo. Mais recentemente, novas evidências de mineralizações estaníferas foram detectadas no Estado de São Paulo,

destacando-se as ocorrências aluvionares da região de Piquete-Cruzeiro, que foram atribuídas a possíveis zonas greisenizadas do Granito Mendanha e as da região de Cachoeira Paulista - São José do Barreiro (Estado de São Paulo) e Resende (Estado do Rio de Janeiro) (Pereira et al., 1994 e 1997; Pereira, 2001). Estas ocorrências, apesar de não serem economicamente expressivas, representam um importante marco metalogenético regional para o entendimento das mineralizações tungsteno-estanífera. Nesse mesmo contexto, Goraieb & Oliveira (1990)

descreveram, em Ribeirão Branco, o depósito de cassiterita e volframita em zonas greisenizadas e albitizadas relacionadas ao Granito Correias, cujas reservas foram estimadas em 5.000 t de Sn (Goraieb, 2001).

O presente trabalho visa a apresentar os resultados prospectivos para cassiterita realizados na região entre Cachoeira Paulista e Resende, objetivando contribuir para a definição do potencial em estanho dos granitos do Funil e São José do Barreiro.

CONTEXTO GEOTECTÔNICO - GEOLÓGICO

A área estudada encontra-se inserida no segmento central da Faixa Ribeira que representa uma das várias unidades neoproterozóicas associadas à Orogênese Brasileira. Pereira (2001) propôs a compartimentação tectônica da região do médio vale do rio Paraíba do Sul em três grandes unidades: Complexo/Sistema de Empurrões Juiz de Fora, Complexo/Domínio Embu e Complexo/*Klippe* Paraíba do Sul (Figura 1). Neste contexto, a faixa presente a norte de Queluz e Areias, representada por gnaisses bandados e por *augen* gnaisses, freqüentemente associados a tipos charnockíticos de coloração esverdeada, pertenceria ao Complexo Juiz de Fora/Sistema de Empurrões Juiz de Fora. Os litótipos cartografados entre Resende – Itatiaia (Estado do Rio de Janeiro) e Areias - São José do Barreiro (Estado de São Paulo), foram correlacionados, por sua vez, às unidades Rio Una e Redenção da Serra, ambas pertencentes ao Complexo Embu/Domínio Embu, enquanto as rochas a sul/sudeste da Zona de Cisalhamento de Cubatão às unidades Beleza e São João, ambas integrantes do Complexo Paraíba do Sul/*Klippe* Paraíba do Sul (Pereira, 2001; Pereira et al., 2001). Associados ao Domínio Embu podem ser encontrados diversos corpos plutônicos félsicos neoproterozóicos (Figura 1), representados pelos Granitos São José do Barreiro (603 ± 3 Ma), Funil (584 ± 5 Ma), Quebra Cangalha, Taquaral (605 ± 11 Ma) e pelo Granitóide Rio Turvo (579 ± 6 Ma) (Valadares, 1996; Pereira et al., 2002a). Alguns desses corpos apresentam contato tectônico com migmatitos,

granada-biotita gnaisses e xistos do Complexo Embu, sendo parcialmente balizados pelas zonas de cisalhamento Alto da Fatura (Granito do Funil) e Cubatão (Granitóide Rio Turvo).

O Granito do Funil possui cerca de 50 km² de área e aflora nas proximidades da represa homônima. Ocorre parcialmente recoberto ao norte pelos sedimentos da Bacia de Resende e encontra-se balizado ao noroeste pela Zona de Cisalhamento Alto da Fatura, em contato brusco e retilíneo com xistos da Unidade Rio Una e migmatitos e gnaisses da Unidade Redenção da Serra, ambas do complexo Embu. No Granito do Funil destacam-se rochas hololeucocráticas cinza a rosadas, porfíricas e equigranulares fina, que são compostas por microclínio, feldspato potássico perítico, plagioclásio, quartzo, biotita, apatita, titanita, zircão, alanita, magnetita, pirita, molibdenita e, mais raramente, ilmenita. São rochas peraluminosas, cálcio-alcálicas e de caráter sincolisional (Pereira et al., 2001).

O Granito São José do Barreiro possui cerca de 45 km² de área, aflora nas proximidades da cidade homônima e encontra-se alongado segundo a direção NE-SW. Destacam-se rochas em tons de cinza escuro, inequigranulares média a porfíricas, foliadas e constituídas por microclínio, quartzo, plagioclásio, biotita, zircão, apatita, ilmenita, muscovita e epidoto. Estas são peraluminosas, cálcio-alcálicas, apresentam acentuado fracionamento de ETR, sendo o corpo considerado como sincolisional (Pereira, 2001).

PROSPECÇÃO MINERALOMÉTRICA

A metodologia empregada consistiu de uma amostragem por concentrados de bateia (2,5 litros de material/amostra com granulometria < 2,0 mm) retirados de rios, ribeirões e córregos que cortam a região. A amostragem foi realizada preferencialmente nos locais mais propícios à acumulação de minerais pesados, *i.e.*, pontos onde se tem a diminuição da velocidade da corrente favorecendo, portanto, a

deposição desses minerais. As drenagens da área estudada estão organizadas segundo o padrão retangular-dendrítico, até chegarem ao vale principal do rio Paraíba do Sul, onde, então, tornam-se subordinadas à calha do mesmo. No geral, os vales fluviais referentes às drenagens de até 3º ordem se apresentam entulhados, formando áreas de brejos. O relevo corresponde a colinas arredondadas cujas cotas

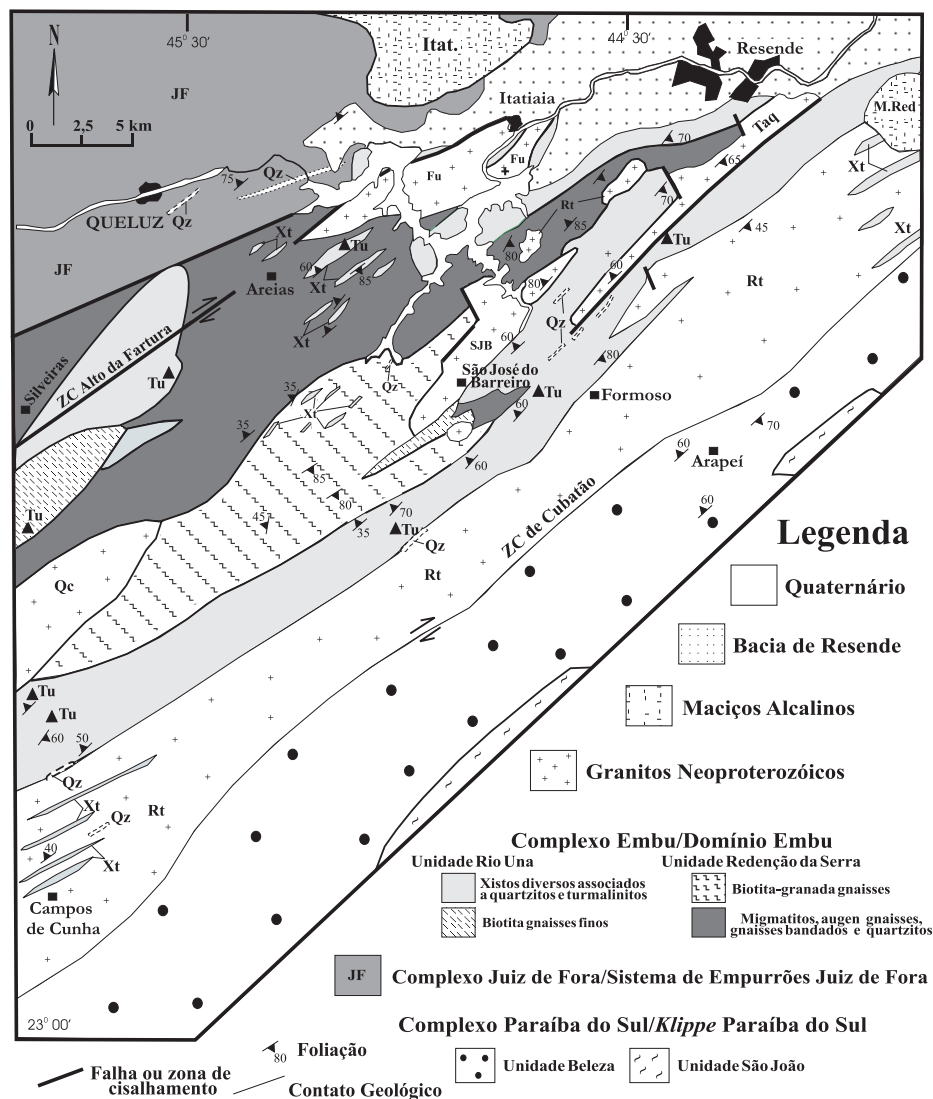


FIGURA 1. Mapa Geológico da região entre Campos de Cunha, Queluz e Resende, estados de São Paulo e do Rio de Janeiro (modificado de Pereira et al., 2001). M. Red. – Maciço alcalino de Morro Redondo; Itat. - Maciço alcalino de Itatiaia; Rt – Granitóide Rio Turvo; SJB – Granito São José do Barreiro; Qc – Granito Quebra Cangalha; Fu – Granito do Funil; Taq – Granito do Taquaral.; Xt – Xisto diversos; Tu – Turmalinito; Qz – Quartzito.

raramente ultrapassam os 600 metros de altitude, ficando o nível de base da região próxima a represa do Funil em torno dos 400 metros. A campanha prospectiva foi efetuada nos meses de junho a julho durante a estação seca da região.

A amostragem foi realizada em nível regional (Prospecção Estratégica), em uma área com cerca de 1.500 km² e em nível local (Prospecção Tática), envolvendo as bacias do ribeirão do Brejo, em Arcias, Estado de São Paulo e do córrego São Jerônimo, em Resende, Estado do Rio de Janeiro (Figura 2). No total foram coletadas 196 amostras (150 na fase Estratégica e 46 na fase Tática), o que proporcionou uma densidade média de amostragem de 1 amostra/10 km² (fase Estratégica).

Em laboratório as amostras de concentrados de bateia foram preparadas para análises químicas e

descrição mineralógica em lupa binocular, a partir da secagem em estufa e separação densimétrica em bromofórmio. As amostras processadas foram subdivididas em duas alíquotas: uma para análises químicas multielementares (As, Sb, Li, Cu, Pb, Zn, Ni, Cr, Co) por absorção atômica no Laboratório de Geoquímica da Faculdade de Geologia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, envolvendo 75 amostras (Tabela 1); e outra, após separações magnéticas com ímãs de mão e do tipo embuchado (*ventouse*) para descrição mineralógica em lupa binocular, referente a 196 amostras. As frações obtidas após a separação magnética foram submetidas à análise mineralógica qualitativa para a identificação dos constituintes minerais existentes nas diversas amostras. Análises complementares foram efetuadas, quando necessárias, para uma melhor identificação e caracterização dos

constituintes minerais, tais como, análises de *frottis* para exame em microscópio de luz polarizada (topázio), testes químicos específicos (estanhagem da cassiterita), exame de fluorescência sob luz ultravioleta (scheelita) e estudos em MEV-EDS. Após esses estudos, foi estabelecida a sùmula dos minerais encontrados na região, bem como realizada a quantificação dos grãos de cassiterita (Tabela

2). Os concentrados são, no geral, constituídos de: magnetita, ilmenita, granada, limonita, turmalina preta (schorlita) e fumê, monazita, sillimanita, zircão e rutilo. Ocorrem ainda: estauroлита, martita, anfibólio, epidoto, xenotímio, biotita, muscovita, cassiterita e, mais restritamente, scheelita, molibdenita, topázio, espinélio (gahnita) e pirita.

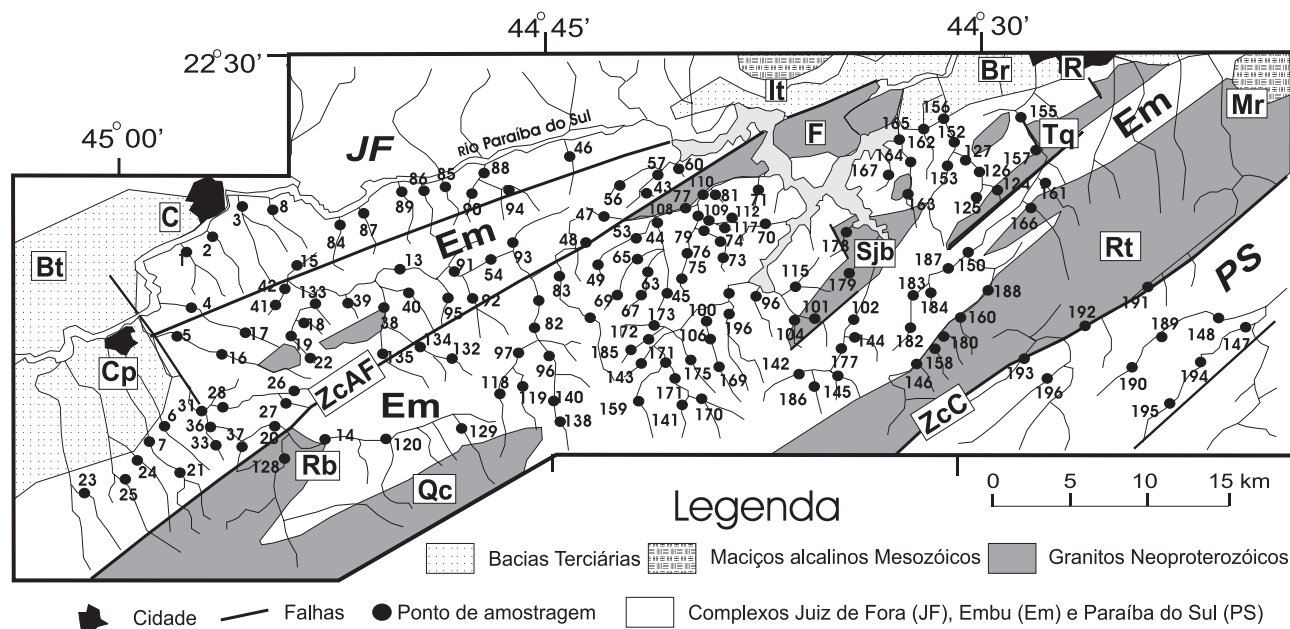


FIGURA 2. Mapa Geológico simplificado da região entre Cachoeira Paulista (SP) e Resende (MG), com a localização dos principais pontos de amostragem. Base utilizada: folha Volta Redonda – SF-23-Z-A do IBGE. Bt – Bacia de Taubaté; Br – Bacia de Resende; It – Maciço de Itatiaia; Mr – Maciço de Morro Redondo; F – Granito do Funil; Tq – Granito Taquaral; Rt – Granitóide Rio Turvo; Sjb – Granito São José do Barreiro; Qc – Granito quebra Cangalha; Rb – Granito Rio Bravo; CJF – Complexo Juiz de Fora; CE – Complexo Embu; CPS – Complexo Paraíba do Sul; ZcC – Zona de Cisalhamento Cubatão; ZcAF – Zona de Cisalhamento Alto Fartura; Cp – Cachoeira Paulista; C – Cruzeiro; R – Resende.

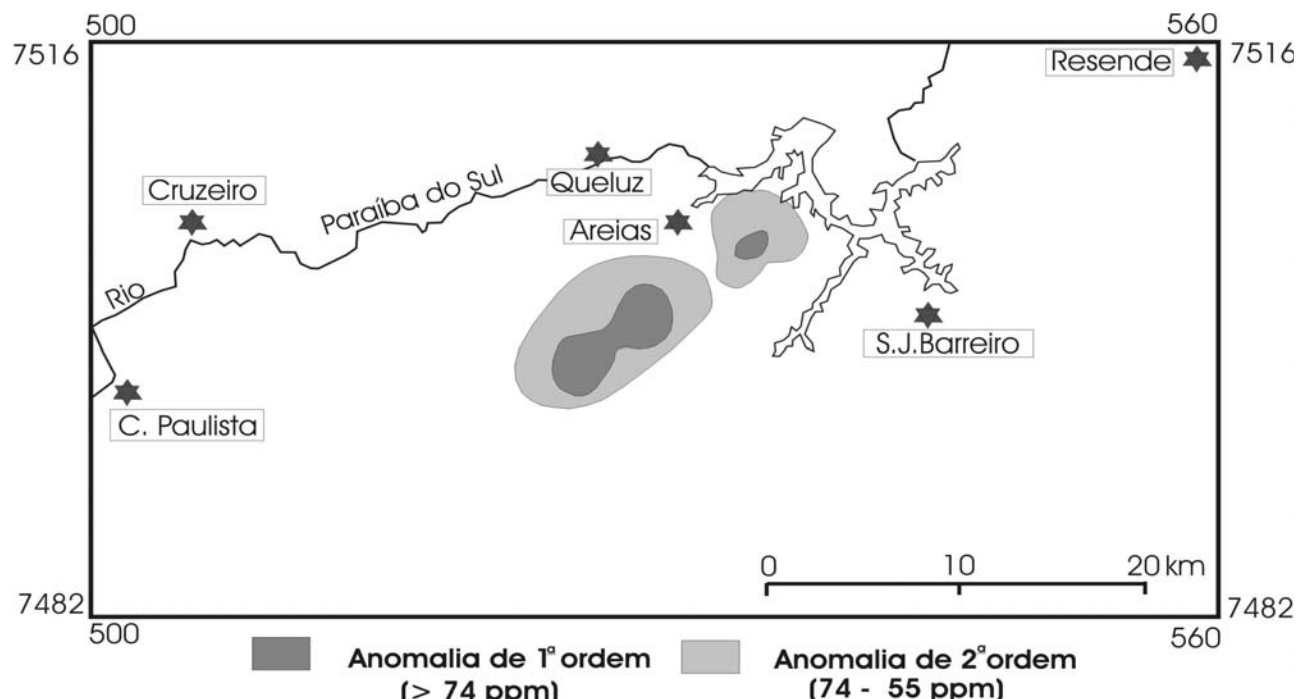


FIGURA 3. Mapa geoquímico do Li na escala de 1:250.000. C. Paulista – Cachoeira Paulista; S.J. Barreiro – São José do Barreiro.

TABELA 1. Análises químicas (em ppm) por absorção atômica dos concentrados de bateia.

amostra	As	Sb	Li	Cu	Pb	Zn	Ni	Cr	Co	amostra	As	Sb	Li	Cu	Pb	Zn	Ni	Cr	Co
8	125	31	23	14	159	203	24	41	44	153	200	96	12	30	358	252	34	100	66
9	62	31	18	12	379	34	7	32	30	154	125	64	8	38	878	70	18	58	38
10	222	31	19	20	107	49	24	32	31	155	128	114	8	16	406	92	38	404	72
11	363	31	34	58	555	199	11	151	73	156	180	82	10	36	400	174	34	128	84
12	62	31	15	12	539	142	7	57	85	157	125	94	10	26	288	182	36	184	76
14	62	31	19	4	393	42	7	155	23	159	238	120	24	14	122	272	34	78	60
15	62	31	17	20	244	23	16	272	49	163	268	112	16	18	162	260	46	226	70
18	97	42	18	6	393	51	11	144	61	164	192	106	10	34	454	210	34	198	68
19	85	31	19	5	234	53	7	32	38	165	190	118	28	14	354	420	28	248	74
25	204	31	20	9	637	52	8	130	39	166	240	136	22	14	194	210	36	60	46
26	294	97	33	14	143	215	21	126	117	167	125	84	6	22	126	96	24	40	114
28	282	42	24	10	175	121	21	47	60	169	340	106	8	14	82	134	52	146	84
31	346	44	18	12	335	231	12	39	59	170	284	106	12	14	124	196	48	142	86
33	390	40	20	20	239	205	28	139	74	171	424	140	6	16	94	110	40	106	80
36	173	80	37	11	121	326	26	62	109	172	346	142	12	20	208	166	40	90	72
43	258	98	23	123	224	146	75	422	342	173	322	130	8	18	116	160	36	118	70
44	216	31	25	17	179	322	20	94	64	174	336	126	8	14	70	120	38	94	64
45	243	106	26	23	219	376	23	153	134	175	288	118	6	16	74	13	40	100	82
48	62	31	98	35	80	327	7	69	42	176	390	126	12	1	88	136	40	86	66
53	62	31	71	48	84	412	7	109	54	177	378	130	8	16	118	110	44	108	80
63	62	31	56	24	121	346	7	136	59	178	334	214	16	28	888	308	44	96	64
71	62	31	93	61	137	425	7	89	40	179	272	130	14	26	260	246	52	150	72
74	62	31	45	44	508	390	7	63	43	182	308	130	12	30	122	206	34	64	64
75	62	31	24	49	470	297	7	52	34	183	186	78	4	14	50	104	36	32	102
78	62	31	93	94	257	672	7	88	48	184	290	126	14	20	112	210	36	84	66
81	62	31	47	94	473	593	7	180	50	185	240	114	12	20	322	152	40	76	76
82	62	31	26	12	19	113	7	107	54	186	180	110	6	10	142	88	32	112	94
83	62	31	101	25	34	297	7	65	63	187	158	98	4	14	38	78	34	140	60
86	62	31	28	781	513	105	7	138	18	189	338	132	18	14	152	64	48	80	80
87	62	31	34	56	301	63	23	146	77	190	342	122	16	12	106	76	54	98	86
88	62	31	21	10	540	39	7	108	20	191	294	128	16	26	430	192	40	54	60
89	62	31	27	28	58	86	30	592	59	192	125	108	14	20	156	106	46	44	128
141	306	82	10	10	64	90	26	102	88	193	160	146	14	20	174	148	56	80	88
143	308	63	16	8	78	172	28	106	76	194	156	138	14	20	150	144	48	94	88
144	268	82	12	12	140	114	40	160	72	195	125	128	14	38	228	128	48	52	96
145	270	84	14	10	122	74	28	92	110	196	202	150	12	20	92	136	56	138	88

MG = média geométrica; DP = desvio padrão; LM = valor limiar; 1° ordem= anomalia de primeira ordem

TABELA 2. Quantificação de grãos de cassiterita nos concentrados de bateia.

Amostra	Grãos de cassiterita	Amostra	Grãos de cassiterita	Amostra	Grãos de cassiterita	Amostra	Grãos de cassiterita
14	1	79	25	114	20	148	2
16	3	80	15	115	3	151	26
16	25	81	20	117	>100	152	6
18	20	82	1	118	1	153	2
22	3	88	1	119	1	154	2
33	66	92	2	120	1	156	2
40	2	95	3	122	7	157	4
43	15	96	3	124	1	159	2
44	36	99	3	125	1	162	>700
54	1	100	10	126	4	163	10
60	10	101	10	127	4	164	16
69	2	103	5	130	40	165	10
70	4	104	3	131	30	170	20
71	2	106	3	132	1	174	2
73	10	108	30	133	2	175	2
74	15	109	80	137	3	178	10
75	20	110	40	139	10	179	6
76	>100	111	20	142	2	182	2
77	20	112	6	143	6	185	18
78	20	113	6	144	10	188	4

Obs: Pontos ausentes não apresentam registro de grãos de cassiterita

A partir dos resultados obtidos foi elaborado um banco de dados com as informações disponíveis sobre as ocorrências minerais encontradas e confeccionados mapas de distribuição geoquímica como o do Li (Figura 3) e mineral como o da cassiterita (Figura 4), na escala de 1/250.000, utilizando-se o programa ARCVIEW e base cartográfica do IBGE (folha Volta Redonda – SF-23-Z-A). A partir dos valores geoquímicos e mineralométricos encontrados, foram definidas áreas com anomalias de primeira, segunda e terceira ordens, de acordo com o estabelecido em Maranhão (1983).

A análise do mapa mineralométrico da cassiterita permite constatar que, dentro da região estudada, o principal sítio da ocorrência desse mineral encontra-se entre Areias (bacia do ribeirão do Brejo) e Resende (bacia do córrego São Jerônimo). Porém, somente na área de Areias verifica-se a superposição de zonas anômalas em lítio e em cassiterita.

A cassiterita tem cor que varia de preta a castanha escura, brilho vítreo a submetálico e pode ser observada quase sempre em fragmentos angulosos e, mais raramente, em cristais bipiramidais, tendo o

maior grão cerca de 3,0 mm. Os estudos realizados no microscópio eletrônico de varredura equipado com sistema de microanálise de raios X por espectroscopia de energia dispersiva do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/MCT), mostraram que a cassiterita encontra-se quase que destituída de inclusões minerais. Estas, quando presentes, são basicamente representadas por tantalita rica em chumbo, columbita-tantalita e uraninita (Pereira et al., 2002b).

Cabe destacar a presença da turmalina, provavelmente schorlita e dravita, em todas as amostras de concentrados coletadas na região. Na fração retida na peneira (*oversize*), ela ocorre como grandes grãos pretos angulosos ou em fragmentos de cristais trigonais prismáticos. Na fração mais fina (- 2,0 mm), concentrada em bateia, ela aparece tanto como lascas e cristais pretos de schorlita, quanto por pequenos cristais prismáticos (≈ 1,0 mm) de faces lisas e de cor fumê, provavelmente do tipo dravita. Há de se registrar, também, embora restrita a uma só amostra, a presença do topázio que ocorre em grãos incolores e transparentes de até 0,5 mm de tamanho.

SUSCEPTIBILIDADE MAGNÉTICA - GAMAESPECTROMETRIA

Do ponto de vista geofísico a classificação de corpos graníticos pode ser efetuada a partir de medidas de susceptibilidade magnética (SM), o que permite diferenciar os corpos de acordo com a quantidade de magnetita presente (Ishihara, 1981). De acordo com

Ishihara (1977), os granitos da série magnetita apresentam valores de $k > 1 \times 10^{-4}$ emu (emu = electro magnetic unities), enquanto os granitos da série ilmenita mostram valores de $k < 1 \times 10^{-4}$ emu. Convertendo-se esses valores para o sistema internacional (SI),

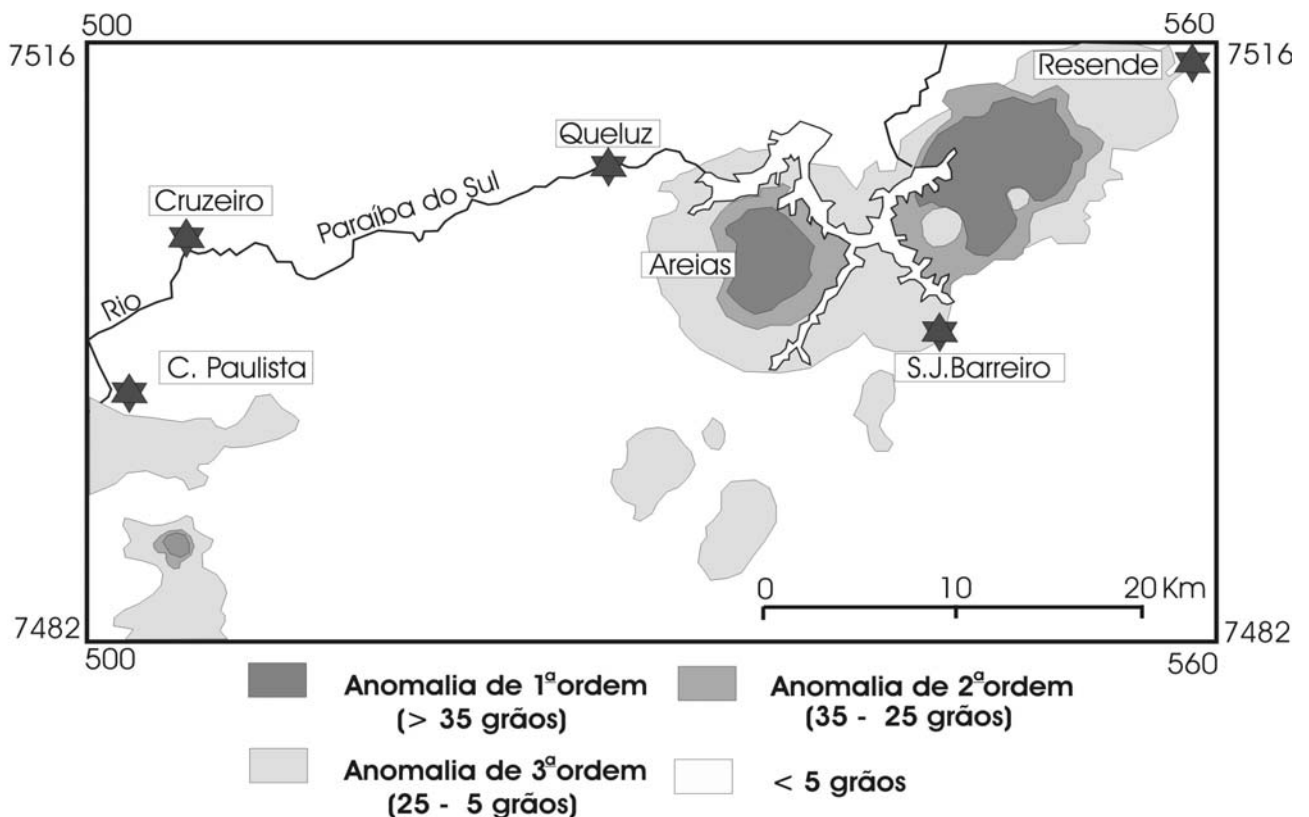


FIGURA 4. Mapa de distribuição da cassiterita na escala de 1:250.000. C. Paulista – Cachoeira Paulista; S.J. Barreiro – São José do Barreiro.

considera-se que o limite da classificação entre as duas séries em unidade SI é de $1,256 \times 10^{-3}$.

As medidas de susceptibilidade magnética foram realizadas em amostras de mão dos granitos do Funil e São José do Barreiro coletadas durante as etapas de campo. Em cada uma das faces da amostra foi efetuada uma medida (cerca de quatro por amostra), sendo a média dessas medidas considerada como a

medida de SM do litotipo. A Tabela 3 contém as medidas de SM efetuadas em cada um dos maciços considerados, bem como o número de medidas realizadas e a classificação em relação à série a magnetita e a ilmenita. Neste contexto, o Granito do Funil [SM (k) $> 1,256 \times 10^{-3}$ SI] foi considerado como um corpo da série a magnetita e o Granito São José do Barreiro [SM (k) $< 1,256 \times 10^{-3}$ SI] um corpo da série a ilmenita.

TABELA 3. Medidas de susceptibilidade magnética dos corpos graníticos estudados.

Granito	nº amostras	Máximo	Mínimo	Média	Tipologia
Funil	31	22 (10^{-3})	1 (10^{-3})	10 (10^{-3})	Tipo-I
São José do Barreiro	10	0.25 (10^{-3})	0.1 (10^{-3})	0.12 (10^{-3})	Tipo-S

De acordo com Maurice & Charbonneau (1987) a proposta de classificação geofísica dos granitos baseada no seu conteúdo em magnetita fica mais precisa, caso sejam adicionados parâmetros radiométricos. Assim, com referência aos elementos produtores de calor, particularmente urânio e tório, verifica-se que os corpos estudados apresentam

concentrações destes elementos acima da média da crosta superior pós-arqueana que é de 2,8 ppm de U e 10,7 ppm de Th (Taylor & McLennan, 1985). Medidas gamaespectrométricas foram realizadas em campo, permitindo estabelecer os valores de U e Th para os granitos do Funil e São José do Barreiro (Tabela 4).

TABELA 4. Medidas de susceptibilidade magnética dos corpos graníticos estudados.

	Granito do Funil				Granito São José do Barreiro			
	Cont.	K	U	Th	Cont.	K	U	Th
Min	54,10	3,7	6,8	37,8	30,7	1,2	5,4	21,0
Max	90,3	6,6	25,0	76,2	63,5	5,0	9,9	62,4
MG	72,18	5,23	12,15	54,94	46,73	2,82	7,4	37,39

Segundo Maurice & Charbonneau (1987), os granitos não-magnéticos do tipo-S ou da série a ilmenita (incluem os leucogranitos a duas micas peraluminosos), tendem a ser radiometricamente mais uraníferos do que toríferos. Esses granitos freqüentemente hospedam veios com minerais de urânio ou depósitos do tipo greisen com U-Sn-W, formados como o resultado de atividade hidrotermal e do autometassomatismo durante os estágios magmáticos finais. U e Th ocorreriam em diferentes fases minerais, representadas, principalmente por uraninita e monazita. Nos granitos Tipo-I ou da série

à magnetita (normalmente caracterizados por anomalias magnéticas), o urânio geralmente se correlaciona positivamente com o tório. A mineralogia que pode conter os radioelementos seria mais variada do que a dos tipos anteriores, estando o urânio e o tório associados, principalmente, a apatita, zircão, titanita e allanita. Os conteúdos de U e Th somados resultam em uma radioatividade total mais alta desses corpos, como pode ser atestado pelos valores mais elevados obtidos para o Granito do Funil (72,2 ppm) em relação ao Granito São José do Barreiro (46,7 ppm).

POTENCIALIDADE EM Sn DOS GRANITOS DO FUNIL E SÃO JOSÉ DO BARREIRO

A grande maioria dos depósitos de Sn está associada (direta ou indiretamente) a corpos pegmatíticos ou a graníticos quimicamente anômalos/especializados (Plimer, 1987; Pollard, 1995). Normalmente os corpos pegmatíticos mineralizados em Sn e metais raros apresentam condições geoquímicas análogas às porções apicais de cúpulas graníticas enriquecidas em elementos voláteis e litófilos (Suwimonprecha et al., 1995; Trumbull, 1995; Sweetapple & Collins, 2002). Nos corpos graníticos especializados, as regiões apicais são consideradas como as mais propícias para a concentração de elementos voláteis e conseqüentemente para a formação de depósitos de Sn e metais raros (Higgins et al., 1985; Pollard, 1989a, b; Raimbault et al., 1995; Candela, 1997). Nessas regiões a formação de depósitos minerais pode estar associada ao processo de cristalização das fácies mais evoluídas de um magma granítico enriquecido em elementos voláteis ou relacionada a alteração pós-magmática decorrente da atuação de sistemas hidrotermais (Halter et al., 1995; Haapala, 1997; Jackson et al., 2000; Kontak & Clark, 2002).

No contexto prospectivo, granitos especializados são os que apresentam um enriquecimento nos elementos granitófilos (Sn, W, B, F, Be, Nb, Ta, U, Th, ETR) comparativamente aos granitos normais (Souza, 1985). Para Govett (1983) de todos os elementos granitófilos indicados, somente o Sn parece funcionar como um indicador geral da potencialidade estanífera de granitóides. Para

Tischendorf (1977), granitos com valores médios de estanho entre 20 e 60 ppm são ditos especializados, enquanto aqueles com teores de Sn entre 5 a 15 ppm são considerados como precursores. Dentro desse critério verifica-se que somente o Granito do Funil apresenta teores de Sn de até 10 ppm, podendo o mesmo ser considerado como um corpo precursor (Tabela 5). Os teores de Sn determinados para o Granito São José do Barreiro foram sempre inferiores ou iguais a 5 ppm, ou seja, dentro do padrão dos granitos descritos como normais.

Na área estudada, a distinção entre corpos potenciais e estéreis também foi calculada no uso dos seguintes parâmetros: razão $(Rb^2 \times Li)/(K \times Mg \times Sr)$ que permite diferenciar os granitos especializados (razão > 0,001) dos não mineralizados (razão < 0,001) (Govett & Atherden, 1988); razão Mg/Li que distingue os corpos mineralizados com razões variando entre 1,5 e 38, dos corpos estéreis, que apresentam razões maiores do que 48 (Kirchner, 1996); e pelo uso do diagrama Rb-Ba-Sr (El Bouseily & El Sakkary, 1975), modificado por Biste (1981).

Utilizando-se a razão $(Rb^2 \times Li)/(K \times Mg \times Sr)$, verifica-se que as rochas dos granitos do Funil e São José do Barreiro apresentam em média, respectivamente, razões iguais a 0,0032 e 0,00006 (Tabela 6), o que permite o enquadramento do primeiro corpo como um granito especializado e o segundo como um granito não mineralizado. A partir do uso da razão Mg/Li, o Granito do Funil (Mg/Li = 37) pode ser enquadrado como um corpo mineralizado,

enquanto o Granito São José do Barreiro ($Mg/Li = 166$), como um corpo estéril. Utilizando-se o diagrama Rb-Ba-Sr (El Bouseily & El Sokyry, 1975), ao qual foi acrescentado um campo específico para os granitos estaníferos (Biste, 1981),

verifica-se que somente uma parte das amostras do Granito do Funil, particularmente aquelas que representam os termos mais diferenciados, posicionam-se no campo dos granitos mineralizados em Sn (Figura 5).

TABELA 5. Análises de alguns elementos maiores (% peso) e menores (ppm) dos granitos do Funil e São José do Barreiro. na – não analisado; nd – não detectado.

	Granito São José do Barreiro				Granito do Funil								
	SBJ-01	SBJ-02	SBJ-03	SBJ-04	F-01	F-02	F-02E	F-03	F-04	F-05	F-06	F-15	F-P
MgO	0,54	0,66	0,50	0,53	0,17	0,24	0,27	0,51	0,40	0,14	0,54	0,10	0,29
K ₂ O	5,90	5,90	5,70	5,60	5,39	5,21	5,10	4,92	4,96	5,10	5,30	4,47	5,30
Rb	313	315	302	310	339	438	499	210	268	281	257	375	473
Ba	636	610	630	630	183	256	357	1050	726	358	1304	95	346
Sr	196	175	186	200	41	64	85	306	266	161	497	40	91
Li	20	20	21	19	66	89	na	37	40	na	na	50	na
Sn	nd	5	nd	nd	10	7	nd	3	3	nd	nd	5	nd

TABELA 6. Teores de Sn e razões $(Rb^2 \times Li)/(K \times Mg \times Sr)$ e Mg/Li dos granitos do Funil e São José do Barreiro.

Granito	$Rb^2 \times Li/K \times Mg \times Sr$	Mg/Li	Sn (ppm)			Fonte
			Min	Max	Med	
Funil	0,0032	37	3	10	5,6	Pereira et al. (2001)
São José do Barreiro	0,00006	166	< 5	5	---	Pereira (2001).

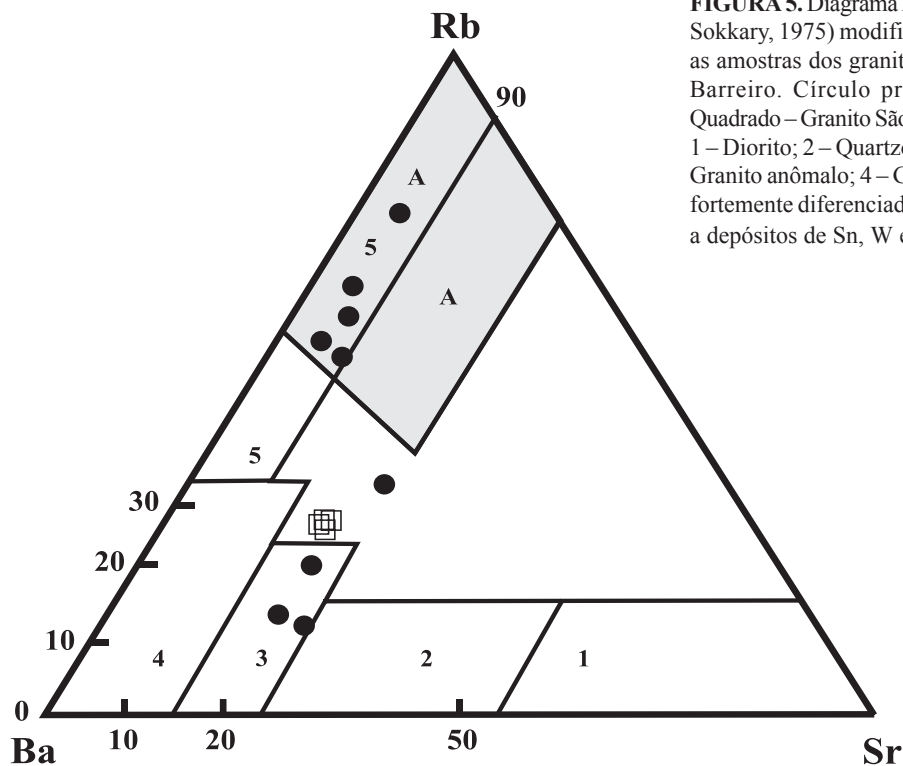


FIGURA 5. Diagrama Rb-Ba-Sr (El Bouseily & El Sokyry, 1975) modificado por Biste (1981) com as amostras dos granitos do Funil e São José do Barreiro. Círculo preto – Granito do Funil; Quadrado – Granito São José do Barreiro; Campos: 1 – Diorito; 2 – Quartzodiorito e granodiorito; 3 – Granito anômalo; 4 – Granito normal; 5 – Granito fortemente diferenciado; A – Granitos associados a depósitos de Sn, W e Mo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A finalidade do presente estudo foi a de determinar os sítios mais promissores para a cassiterita, bem como tentar localizar as fontes primárias da mineralização. Destaca-se que as principais anomalias para cassiterita foram determinadas nas proximidades do Granito do Funil, permitindo considerar esse corpo como a fonte primária dessas mineralizações. Com os trabalhos de *follow-up*, pôde-se verificar a dificuldade de tal empreitada, visto que esse mineral, também deriva de fontes secundárias de dispersão, caracterizadas no presente trabalho como os ruditos da Bacia de Resende e os bancos de cascalhos dos terraços fluviais recentes. Por conseguinte, admite-se que, parte da cassiterita encontrada no leito ativo das drenagens resulta do retrabalhamento das fontes secundárias, as quais se encontram em franco processo de erosão.

A constante associação da cassiterita com grãos grossos de turmalina preta que, depois do quartzo, constitui um dos principais minerais encontrados no leito ativo das drenagens, leva a se considerar a possibilidade da associação paragenética da turmalina com a cassiterita. Porém, foram caracterizados nos concentrados de bateia estudados dois tipos distintos de grãos de turmalina, que estariam relacionados a duas fontes diferentes. Estudos efetuados apontaram que a turmalina grossa (inclusive a retida na peneira de 2 mm), de cor preta (schorlita), está geneticamente relacionada a bolsões pegmatíticos (mais freqüentes) e a pequenos veios de quartzo-turmalina (menos comuns) encontrados na região. De forma semelhante, a turmalina mais fina (submilimétrica), sempre em prismas trigonais e de cor fumê, teria sua origem relacionada aos níveis turmaliníticos amplamente encontrados na área estudada.

A superposição na área de Areias da anomalia geoquímica de lítio com a da distribuição mineralométrica da cassiterita apontam para a possibilidade de associação entre o Sn e Li tanto em zonas de cúpulas graníticas, quanto em bolsões pegmatíticos.

Os valores de k do Granito do Funil são, em geral, bastante elevados chegando até a 22×10^{-3} SI, sendo concordantes com o significativo volume de magnetita (ca. 1%) registrado em algumas partes desse

corpo. Amostras de rochas nesses locais apresentam-se tão magnéticas, que chegam a atrair o imã de mão posto em pêndulo. Esses valores de susceptibilidade magnética indicam que o Granito do Funil pode ser considerado, pela classificação de Ishihara (1981), como pertencendo à série a magnetita. Em relação à classificação proposta por Chappell & White (1974), o enquadramento do Granito do Funil como um corpo do tipo-I baseou-se na presença de titanita primária; de pirita e molibdenita; razão $Al_2O_3 / (Na_2O + K_2O + CaO) < 1,10$ e conteúdo de Na_2O superior a 3,0% nas variedades félsicas. No caso do Granito São José do Barreiro os valores mais baixos de k são consistentes com volumes menores de magnetita determinados e com a composição mineralógica de granitos tipo-S (razão $Al_2O_3 / (Na_2O + K_2O + CaO) > 1,10$; $Na_2O < 3,1\%$).

A presença da cassiterita em amostras de concentrados de bateia coletados na área de entorno do Granito do Funil, bem como os resultados geoquímicos obtidos, a partir da utilização das razões $(Rb^2 \times Li) / (K \times Mg \times Sr)$ e Mg/Li , bem como do diagrama Rb-Ba-Sr, apontam esse corpo como potencial para a presença de mineralizações estaníferas. O maior grau de especialização geoquímica apresentada por esse granito, em parte, está corroborado pelo seu enquadramento bem próximo ao dos corpos possuidores de depósitos ou ocorrências estaníferas. Os teores de Sn de algumas amostras do Granito do Funil, entre 7 e 10 ppm, fazem com que o mesmo seja enquadrado, conforme a proposta de Tischendorf (1977), como um corpo precursor. Em termos da potencialidade estanífera dos granitóides da região sudeste do Brasil, cabe indicar que em Santa Catarina granitos associados a mineralizações de cassiterita apresentaram teores de Sn entre 7,0 e 9,9 ppm (Kirchner, 1996). Dessa forma, pode-se considerar o Granito do Funil como no mesmo patamar de potencialidade dos corpos mineralizados de Santa Catarina. Em relação ao Granito São José do Barreiro, pode-se indicar que este corpo, a partir da utilização das razões $(Rb^2 \times Li) / (K \times Mg \times Sr)$ e Mg/Li , corresponde a um tipo não mineralizado ou estéril.

CONCLUSÕES

Os trabalhos realizados não permitiram a localização da fonte primária da cassiterita, porém, foram identificadas duas fontes secundárias de dispersão, representadas pelos ruditos paleogênicos da Bacia de Resende e pelos bancos de cascalhos dos

terraços fluviais recentes. Admite-se que a fonte primária da cassiterita presente nas drenagens da área estudada (tanto nos sedimentos de leito ativo, quanto nos bancos de cascalhos dos terraços) e nos ruditos paleogênicos da Bacia de Resende, estaria relacionada

à erosão, que vem se processando, pelo menos, desde o Paleogeno, da cúpula granítica e/ou de bolsões pegmatíticos associados ao Granito do Funil.

Em relação à potencialidade em Sn da região, considera-se o Granito do Funil, um corpo tipo-I a magnetita, como um granito precursor, enquanto o Granito São José do Barreiro, um corpo

tipo-S a ilmenita, como um granito estéril.

Em função da superposição da anomalia geoquímica de lítio e mineralométrica de cassiterita, indica-se a área da bacia do ribeirão do Brejo, em Areias, Estado de São Paulo como um possível alvo para trabalhos de pesquisa mineral.

AGRADECIMENTOS

À Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo e Pesquisa do Rio de Janeiro – FAPERJ (proc. 170-023/2003 para Ciro Alexandre Ávila) pelo apoio financeiro para a realização de parte das atividades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BARBOSA, A.F. & MACIEL, P. Mineralização de estanho e tungstênio na Serra de São Francisco, Estado de São Paulo. **Engenharia, Mineração e Metalurgia**, v. 16, n. 92, p. 145-150, 1951.
2. BISTE, M. Application of various geochemical proximity indicators to the tin favorability of south-Sardinian granites. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 15, n. 1/3, p. 295-306, 1981.
3. BOIN, M.N.; SILVA, J.R.B.; SILVA, R.B.; MELLO, I.S.C. Mineralizações polimetálicas e hidrotermais associadas aos granitoides alcalinos de Mandira – SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32, 1982, Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Geologia, 1982, v. 3, p. 945-956.
4. CANDELA, P.A. A review of shallow, ore-related granites: textures, volatiles, and ore metals. **Journal of Petrology**, v. 38, n. 12, p. 1619-1633, 1997.
5. CHAPPELL, B.W & WHITE, A. Jr. Two contrasting granites types. **Pacific Geology**, v. 8, p. 173-174, 1974.
6. CUNHA, O.L. Cassiterita – ambligonita e minerais associados na Mina Loureiro – Fazenda Cuiabá, Mogi das Cruzes, Estado de São Paulo. **Revista Técnica Sulamericana**, v. 1, n. 1, p. 7-11 e 20-22, 1942.
7. ELBOUSEILY, A.M. & EL SOKKARY, A.A. The relation between Rb, Ba and Sr in granitic rocks. **Chemical Geology**, v. 16, n. 3, p. 207-219, 1975.
8. GORAIEB, C.L. **Contribuição à gênese do depósito primário polimetálico (Sn, W+Zn, Cu, Pb) Correas, Ribeirão Branco (SP)**. São Paulo, 2001. 215 p. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
9. GORAIEB, C.L. & OLIVEIRA, M.C.B. Aspectos da geologia e prospecção da área do Granito Correas e mineralizações estano-tungsteníferas associadas. **Revista da Escola de Minas**, v. 43, n. 2, p. 57-69, 1990.
10. GOVETT, G.J.S. **Rock Geochemistry in Mineral Exploration**. Amsterdam: Elsevier, 1983, 461 p.
11. GOVETT, G.J.S. & ATHERDEN, P.R. Applications of rock geochemistry to productive plutons and volcanic sequences. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 30, p. 223-242, 1988.
12. HAAPALA, I. Magmatic and postmagmatic processes in tin-mineralized granites: topaz-bearing leucogranite in the Eurajoki Rapakivi Granite Stock, Finland. **Journal of Petrology**, v. 38, n. 12, p. 1645-1659, 1997.
13. HALTER, W.E.; WILLIAMS-JONES, A.E.; KONTAK, D.J. Origin and evolution of the greisenizing fluid at the East Kemptville tin deposit, Nova scotia, Canada. **Economic Geology**, v. 90, n. 3, p. 1026-1051, 1995.
14. HIGGINS, N.C.; SOLOMON, M. ; VARNE, R. The genesis of the Blue Tier batholith, NE Tasmania. **Lithos**, v.18, n. 2, p. 129-149, 1985.
15. ISHIHARA, S. The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks. **Mining Geology**, v. 27, p. 293-305, 1977.
16. ISHIHARA, S. The granitoid series and mineralization. **Economic Geology**, v. 75th anniversary, p. 458-484, 1981.
17. JACKSON, P.; CHANGKAKOTI, A.; KROUSE, H.R.; GRAY, J. The origin of greisen fluids of the Foley's zone, Cleveland tin deposit, Tasmania, Australia. **Economic Geology**, v. 95, n. 1, p. 227-236, 2000.
18. KIRCHNER, C.A. Aplicação da litogeoquímica na discriminação de granitoides produtivos: Folha Florianópolis/Lagoa, SC. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39, 1996, Salvador. **Boletim de Resumos Expandidos...** Salvador: Sociedade Brasileira de Geologia, 1996, v. 2, p. 165-167.
19. KNECHT, T. As jazidas de volframita e cassiterita da Serra de São Francisco, município de Sorocaba, Estado de São Paulo. In: CONGRESSO PANAMERICANO DE ENGENHARIA DE MINAS E GEOLOGIA, 2, 1946, Petrópolis. **Anais...** Petrópolis: 1946, v. 2, p. 113-139.
20. KONTAK, D.J. & CLARK, A.H. Genesis of the giant, Bonanza San Rafael lode tin deposit, Peru: origin and significance of pervasive alteration. **Economic Geology**, v. 97, n. 8, p. 1741-1777, 2002.
21. MARANHÃO, R.J.L. **Introdução à Pesquisa Mineral**. Fortaleza: ETENE/ Banco do Nordeste do Brasil, 1983, 680 p.
22. MARTINI, S.L. Domínios de flúor e metais raros na região sudeste do Brasil: breve revisão e possíveis interrelações. **Mineração e Metalurgia**, v. 49, n. 464, p. 30-37, 1985.
23. MAURICE, Y.T & CHARBONNEAU, B.W. U and Th concentration processes in canadian granitoids, their detection by airborne gamma ray spectrometry and their relationship to granophile mineralization. **Revista Brasileira de Geociências**, v.17, n. 4, p. 644-646, 1987.
24. PEREIRA, R.M. **Caracterização geocronológica,**

- geoquímica, geofísica e metalogênica de alguns plutonitos graníticos da região do médio rio Paraíba do Sul e alto Rio Grande, segmento central da Faixa Ribeira.** Rio de Janeiro, 2001. 213 p. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro
25. PEREIRA, R.M.; SANTOS, R.A.; NEVES, J.L.P. Prospecção à bateia na borda oriental da região sudeste do Brasil: Primeiros resultados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38, 1994, Balneário de Camboriú. **Boletim de Resumos Expandidos...** Balneário de Camboriú: Sociedade Brasileira de Geologia, 1994, v. 2, p. 197-198.
 26. PEREIRA, R. M.; FILGUEIRAS, A.; OLIVEIRA, A. Cassiterita associada às rochas graníticas do médio rio Paraíba do Sul, Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 5, 1997, Penedo. **Atas...** Penedo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1997, p. 420-421.
 27. PEREIRA, R.M.; ÁVILA, C.A.; MOURA, C.A.V. Geologia da região entre Resende e São José do Barreiro e idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ do Granito do Funil, segmento central da Faixa Ribeira (RJ-SP), Brasil. **Geociências**, v. 20, n. 1/2, p. 37-48, 2001.
 28. PEREIRA, R.M.; MOURA, C.A.V.; JUNHO, M.C.B. Single zircon Pb-evaporation age of some granitic plutons in the central part of the Ribeira Belt, southeastern Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 32, n. 3, p. 327-334, 2002a.
 29. PEREIRA, R.M.; NEUMANN, R.; NETTO, A. M. Investigação química e mineralógica de cassiterita e columbita-tantalita do sudeste do Brasil por microscopia eletrônica de varredura. **Geochimica Brasiliensis**, v. 16, n. 1, p. 17-23, 2002b.
 30. PLIMER, R.I. Fundamental parameters for the formation of granite-related tin deposits. **Geologische Rundschau**, v.76, n. 1, p. 23-40, 1987.
 31. POLLARD, P.J. Geochemistry of granites associated with tantalum and niobium mineralization. In: MOLLER, P.; CERNY, P. & SAUOE, F. (Editores). **Lanthanides, tantalum and niobium**. Berlin: Springer-Verlag, 1989a, p. 145-168.
 32. POLLARD, P.J. Geologic characteristics and genetic problems associated with the development of granite-hosted deposits of tantalum and niobium. In: MOLLER, P.; CERNY, P. & SAUOE, F. (Editores). **Lanthanides, tantalum and niobium**. Berlin: Springer-Verlag, 1989b, p. 240-256.
 33. POLLARD, P.J. Geology of rare metal deposits: An introduction and overview. **Economic Geology**, v. 90, n. 3, p. 489-494, 1995.
 34. RAIMBAULT, L.; CUNEY, M.; AZENCOTT, C. DUTHOU, J.L.; JORON, J.L. Geochemical evidence for a multistage magmatic genesis of Ta-Sn-Li mineralization in the granite at Beauvoir, French Massif Central. **Economic Geology**, v. 90, n. 3, p. 548-576, 1995.
 35. SALDANHA, R. Estudo da jazida de wolframita de Inhandjara. **Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo, Série Mineralogia**, n. 8, p. 1-95, 1946.
 36. SALDANHA, R. & FRANCO, R.R. Nota preliminar sobre a ocorrência de wolframita e cassiterita em Sorocaba. **Mineração e Metalurgia**, v. 10, n. 57, p. 107-109, 1946.
 37. SOUZA, E.C. **Granitos e Mineralizações Associadas**. Rio de Janeiro: Publicação Técnica CPRM, 1985, v.1, n. 1, p. 5-104.
 38. SUWIMONPRECHA, P.; CERNÝ, P.; FRIEDRICH, G. Rare metal mineralization related to granites and pegmatites, Phuket, Thailand. **Economic Geology**, v. 90, n. 3, p. 603-615, 1995.
 39. SWEETAPPLE, M.T. & COLLINS, P.L. Genetic framework for the classification and distribution of Archean rare metal pegmatites in the north Pilbara Craton, western Australia. **Economic Geology**, v. 97, n. 4, p. 873-895, 2002.
 40. TAYLOR, S.R & MCLLENAN, A. **The Continental Crust: its composition and evolution**. Oxford: Blackwell, 1985, 312 p.
 41. TISCHENDORF, G. Geological and petrographic characteristics of silicic magmatic rocks associated with rare-element mineralization. In: STEMPROK, M., BOURNOL, L. ; TISCHENDORF, G. (Editores), **Metallization Associated with Acid Magmatism**. Prague: Geological Survey, 1977, v. 2, p. 41-96.
 42. TRUMBULL, R.B. Tin mineralization in the Archean Sinceni Rare Element Pegmatitic Field, Kaapvaal Craton, Swaziland. **Economic Geology**, v. 90, n. 3, p. 648-657, 1995.
 43. VALLADARES, C.S. **Evolução geológica do complexo Paraíba do Sul, no segmento central da faixa Ribeira, com base em estudos de geoquímica e geocronologia U-Pb**. São Paulo, 1996. 147p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
 44. WERNICK, E. & PENALVA, F. Contribuição ao conhecimento das rochas granitoides do sul do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 8, n. 2, p. 113-133, 1978.